

# DEFLEKSI BALOK MELINTANG DAN TEGANGAN BATANG DIAGONAL TEPI JEMBATAN “BOOMERANG BRIDGE” AKIBAT VARIASI POSISI PEMBEBANAN

Danny Zuan Afrizal, Sri Murni Dewi, Christin Remayanti N

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan M.T. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur - Indonesia  
E-mail: dannyzuan@gmail.com

## ABSTRAK

*Jembatan Boomerang sendiri merupakan jembatan rangka dengan konfigurasi rangka jenis K-truss. Dalam perhitungan secara teoritis dan kenyataan lendutan yang dihasilkan sangat berbeda, Perbedaan angka lendutan secara teoritis dengan pengujian lapangan inilah yang menjadi dasar dari penelitian ini. Dengan meninjau lendutan balok melintang dan tegangan batang diagonal rangka tepi nantinya akan dapat dilihat pengaruh perletakkan beban yang diberikan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian serta perhitungan teoritis sebagai perbandingan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban garis dengan menggunakan balok pemerata atas beban terpusat 400 Kg. Beban diletakkan pada poisisi 1 ( $1/4$  bentang kiri jembatan), posisi 2 ( $1/2$  bentang jembatan) dan posisi 3 ( $1/4$  bentang kanan jembatan). Pengujian untuk memperoleh besar tegangan dilakukan dengan menggunakan strain gauge, sedangkan untuk lendutan digunakan LVDT. Sedangkan untuk perhitungan teoritis digunakan program. Pengujian elastisitas bahan juga dilakukan untuk ketelitian hasil pengujian dan perhitungan. Hasil pengujian dan perhitungan teoritis sama-sama menyatakan bahwa posisi beban sangat berpengaruh terhadap tegangan batang diagonal tepi juga lendutan balok melintang yang terjadi. Selain itu didapatkan hasil yang cukup berbeda jauh antara pengujian dengan perhitungan teoritis.*

**Kata kunci:** Boomerang Bridge, batang diagonal, balok melintang.

## Pendahuluan

Dengan semakin berkembangnya kebutuhan serta aktivitas manusia maka diperlukan sarana dan prasarana perpindahan dan pergerakan yang memadai. Salah satunya adalah dengan membuat konstruksi jembatan, jembatan merupakan struktur bangunan yang keberadaannya berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah oleh karena rintangan berupa sungai, jurang danau laut dan lain-lain. Menurut Direktorat Jenderal (Ditjen) Bina Marga Danis Hidayat Sumadilaga, jumlah jembatan tersebut relatif masih sedikit mengingat kondisi geografis Indonesia berupa negara kepulauan. (anonim, 2007). Jumlah jembatan tersebut masih kalah dari jumlah jembatan di Amerika Serikat yang mencapai 600ribu jembatan. Oleh karena itu demi memacu jumlah jembatan di Indonesia, DIKTI mengadakan lomba konstruksi jembatan yakni KJI (Kompetisi Jembatan Indonesia).

Boomerang Bridge atau jembatan Boomerang merupakan salah satu

partisipan dan pemenang dari lomba KJI ke-9 tahun 2013. Jembatan Boomerang sendiri merupakan jembatan rangka dengan konfigurasi rangka jenis K-truss. Penggunaan rangka tersebut menjadi inovasi tersendiri dalam jembatan ini. Dalam perhitungan secara teoritis jembatan Boomerang memberikan angka lendutan sebesar 1.282 mm sedangkan pada saat dilakukan pembebanan secara langsung lendutan yang diberikan tidak sama seperti yang diperhitungkan yaitu sebesar 2.09 mm. Perbedaan angka lendutan secara teoritis dengan pengujian lapangan inilah yang menjadi dasar dari penelitian ini. Tujuan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tegangan pada batang diagonal rangka tepi akibat beban sebesar 400 kg dengan posisi beban berubah-ubah berdasarkan hasil penelitian dan program
2. Untuk mengetahui defleksi pada batang melintang akibat beban sebesar 400 kg dengan posisi beban berubah-ubah

- berdasarkan hasil penelitian dan program
3. Mengetahui perbandingan hasil perhitungan dengan program dengan hasil penelitian.

### **Tinjauan Pustaka**

#### **Jembatan**

Pengertian jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain. Jembatan rangka (*truss bridge*), merupakan susunan dari batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan pelat buhul, dengan pengikat paku keling, baut atau las. Batang-batang rangka ini hanya memikul gaya dalam aksial (normal) tekan atau tarik, tidak seperti pada jembatan gelagar yang memikul gaya-gaya dalam momen lentur dan gaya lintang (Nasution 2012).

#### **Tegangan dan Defleksi**

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktural lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, dan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang. Contoh dari batang tarik dan batang tekan dapat diperlihatkan pada elemen di rangka batang pada jembatan, batang batang penghubung pada mesin mobil dan sepeda, kolom di gedung, dan flens tarik di pesawat terbang kecil (Gere 1997). Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah vertical dan

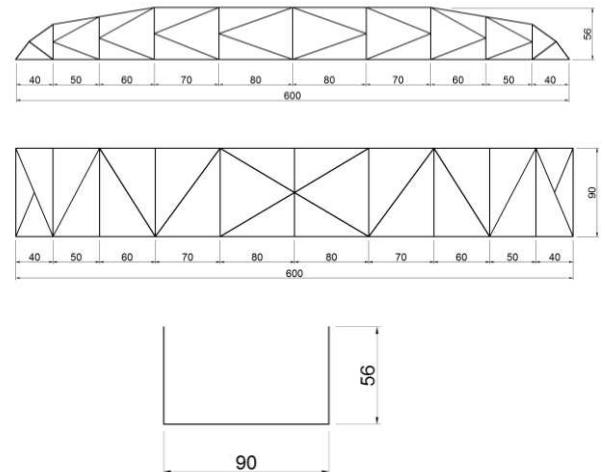
horizontal akibat adanya pembebanan yang diberikan pada balok atau batang.

#### **Uji Tarik**

Uji Tarik merupakan pengujian paling dasar dalam mengetahui sifat dari suatu bahan. Pengujian ini sangat sederhana dan tidak mahal serta sudah banyak dipakai di seluruh negara. Banyak sekali hal yang didapat dalam pengujian ini, proses pengujian tarik sendiri adalah dengan menarik benda uji yang profilnya telah ditentukan sesuai standar dengan gaya tarikan yang tentunya juga disesuaikan standar sampai benda uji tersebut putus. Dimana nantinya akan didapatkan profil tarikan yang lengkap dalam bentuk kurva, kurva tersebut menunjukkan gaya tarikan dengan perubahan panjang. Yang menjadi fokus dalam pengujian ini adalah tegangan tarik maksimum dari bahan tersebut.

### **Metodologi Penelitian**

#### **Pemodelan Jembatan**

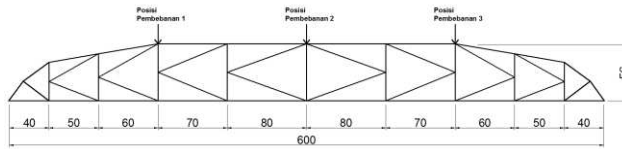


Gambar 1 Dimensi Jembatan Boomerang

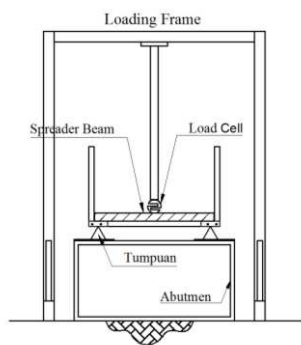
#### **Pemodelan Pembebanan**

Jembatan dalam penelitian ini akan diberikan beban pada batang melintangnya secara berurutan mulai dari posisi 1 sampai dengan posisi 3. Beban yang diberikan sebesar 400 kg secara terpusat dengan *hydraulic jack*, yang nantinya akan disebar

dengan menggunakan *spreader beam* sepanjang 90 cm. Untuk kondisi tumpuan pada penelitian ini dipakai tumpuan sendi dan rol.



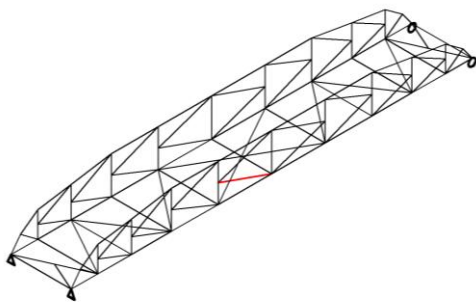
Gambar 2 Posisi Perletakkan Beban Jembatan



Gambar 3 Perletakkan Beban Garis Tampak Depan Pada Saat Pengujian

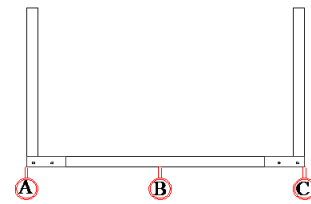
### Perlakuan Benda Uji

Pengujian tegangan batang dilakukan dengan meninjau 1 batang diagonal rangka tepi yang terletak seperti pada gambar 3.



Gambar 4 Batang Diagonal Rangka Tepi Yang Diuji

Sedangkan untuk pengujian lendutan dilakukan pada 3 balok melintang yang posisinya sama seperti perletakkan beban. Dan pada tiap balok melintang diberikan 3 dial LVDT.



Gambar 5 Pemasangan LVDT Pada Balok Melintang

### Hasil dan Pembahasan Uji Tarik

Proses uji tarik dilakukan dengan menggunakan mesin *UTM* (*Universal tensile strength*), data yang diperoleh merupakan data besar gaya penarikan serta besar perpanjangan benda uji tarik yang diplot pada kertas plotter. Namun demi ketelitian dan ketepatan dalam penelitian ini dilakukan pemasangan strain gauge pada batang uji agar pembacaan regangan dihasilkan sesuai dan tepat. Pembacaan hasil regangan pada *strain gauge* terbatas pada regangan tertentu akibat kapasitas *strainmeter* yang memang kecil. Pada tabel 1 ditampilkan nilai elastisitas masing-masing spesimen yang didapatkan dari proses uji tarik.

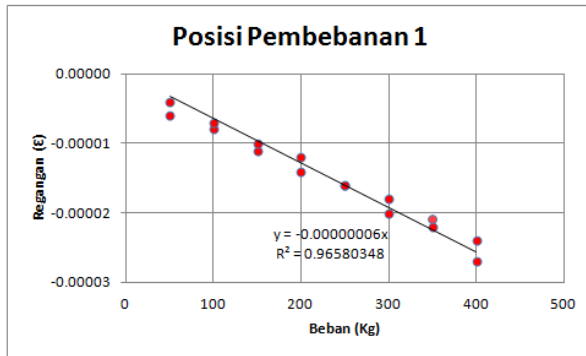
Tabel 1 Hasil Pengujian Elastisitas

	Elastisitas (N/mm <sup>2</sup> )
Batang Uji 1	182.726
Batang Uji 2	185.854
Batang Uji 3	180.360
Batang Uji 3	183.470
Rata-rata	183.102

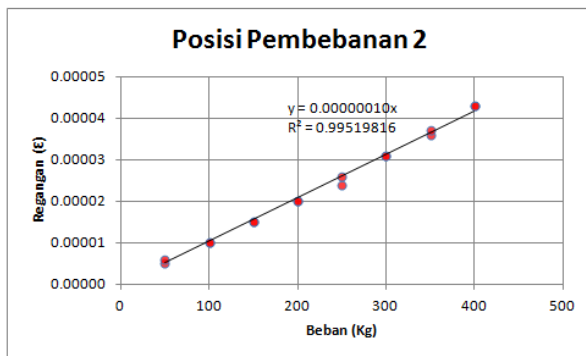
### Pengujian Tegangan Batang Baja Profil

Pemberian beban dilakukan secara bertahap untuk tiap kelipatan 50 Kg. Pengujian tegangan batang rangka diagonal dilakukan dengan strain gauge dengan membaca hasil regangan yang terjadi kemudian dihitung ke tegangan. Pembacaan *strain gauge* dilakukan sebanyak 2 kali pengulangan, pada gambar 6, 7 dan 8 ditampilkan hasil regangan yang

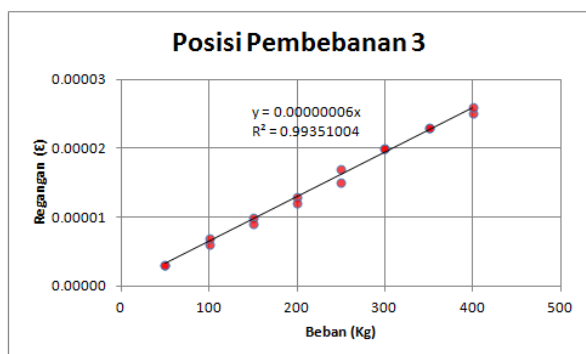
didapatkan berdasarkan pada posisi beban yang telah ditentukan.



Gambar 6 Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 1



Gambar 7 Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 1



Gambar 8 Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 1

Dari hasil data yang diperoleh didapatkan bahwa regangan selalu berbanding lurus terhadap beban. Perbedaan regangan tekan dan tarik yang terjadi diakibatkan oleh perletakan posisi beban pada struktur

jembatan serta arah batang K-truss jembatan.

Besar regangan yang terjadi pada tiap posisi pembebanan jembatan akibat beban 400 kg disajikan pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi

Posisi Beban	Regangan (ε)
I	-0,000024
II	0,00004
III	0,000024

Dengan perolehan data regangan dan elastisitas yang didapat serta luas penampang batang diagonal pada struktur rangka yang ditinjau maka gaya batang yang terjadi dapat diperhitungkan berdasarkan rumus :

$$P = E . A . \varepsilon$$

P I = -1023,73061 N (tekan)

P II = 1706,21768 N (tarik)

P III = 1023,73061 N (tarik)

Sedangkan tegangan batang yang terjadi akan dihitung berdasarkan rumus :

$$\sigma = E . \varepsilon$$

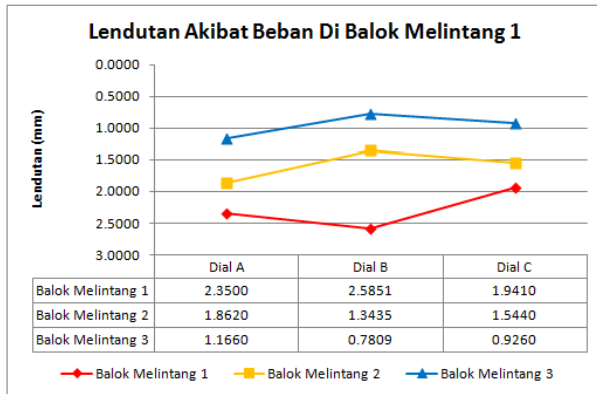
$\sigma$  I = -4,39445 N/mm<sup>2</sup> (tegangan tekan)

$\sigma$  II = 7,32408 N/mm<sup>2</sup> (tegangan tarik)

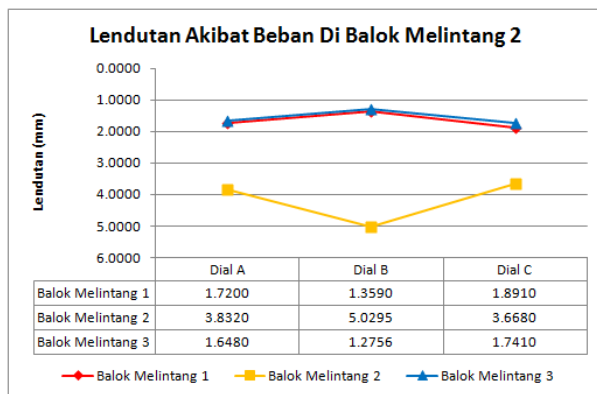
$\sigma$  III = 4,39445 N/mm<sup>2</sup> (tegangan tarik)

### Pengujian Defleksi Balok Melintang Rangka Jembatan

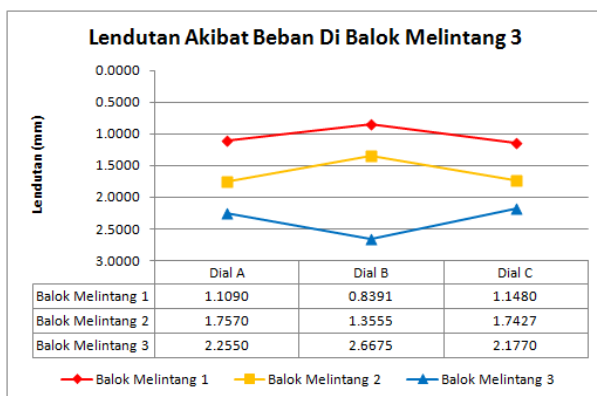
Pembacaan *LVDT* dilakukan dengan ketelitian  $1 \times 10^{-4}$  mm. Pada dial A dan C mengintrepetasikan lendutan dari rangka jembatan, sedangkan dial B sendiri merupakan intrepetasi dari lendutan batang melintang yang bekerja sebagai balok. Untuk perbandingan lendutan terhadap posisi perletakkan beban pada jembatan dapat dilihat pada gambar 9, 10 dan 11.



Gambar 9 Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 1 (Posisi 1)



Gambar 10 Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)



Gambar 11 Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)

### Hasil Perhitungan Teoritis

Dari pengujian elastisitas yang sebelumnya telah dilakukan didapatkan hasil angka elastisitas sebesar 183.102

N/mm<sup>2</sup>, dan hasil tersebut akan dimasukkan sebagai data pendukung pada perhitungan teoritis dengan menggunakan program.

### Hasil Gaya Batang dan Tegangan Teoritis

Dari perhitungan secara programik melalui program didapatkan nilai gaya batang diagonal yang ditinjau akibat posisi pembebanan yang berbeda-beda dan disajikan pada tabel 3.

Tabel 3 Gaya Batang Teoritis

Posisi Beban	Besar Gaya Batang (N)	Keterangan
Posisi 1	-745,28579	Tekan
Posisi 2	1466,58451	Tarik
Posisi 3	740,89241	Tarik

Dari gaya batang yang telah didapatkan dapat ditentukan besar nilai tegangan yang terjadi dengan menggunakan rumus :

$$\sigma = P/A$$

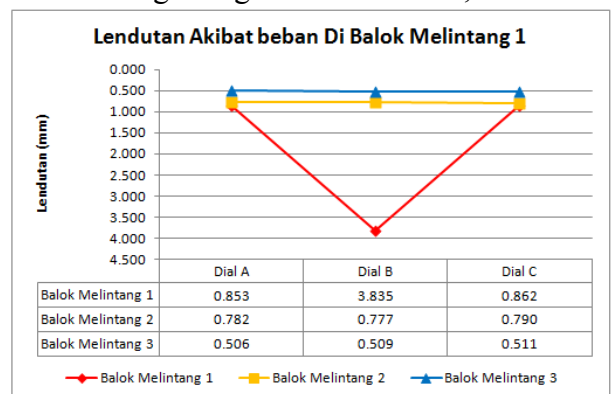
$\sigma I = -3,19920 \text{ N/mm}^2$  (tegangan tekan)

$\sigma II = 6,29543 \text{ N/mm}^2$  (tegangan tarik)

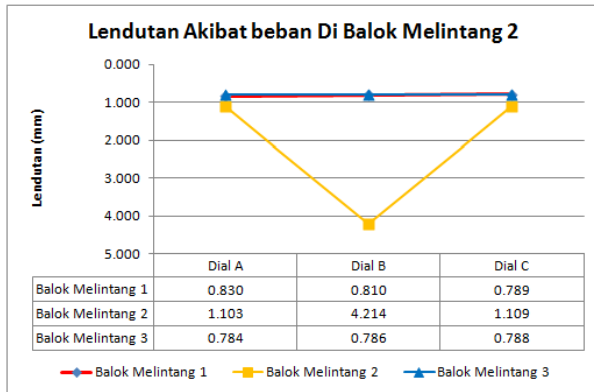
$\sigma III = 3,18034 \text{ N/mm}^2$  (tegangan tarik)

### Hasil Lendutan Balok Melintang Teoritis

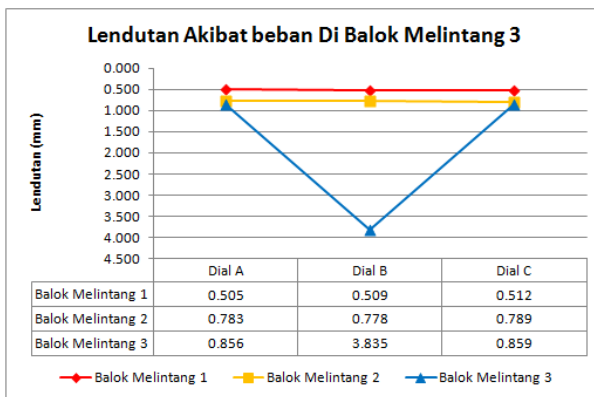
Berikut hasil perhitungan lendutan ujung balok melintang rangka jembatan “Boomerang Bridge” secara teoritis,



Gambar 12 Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 1 (Posisi 1)



Gambar 13 Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)

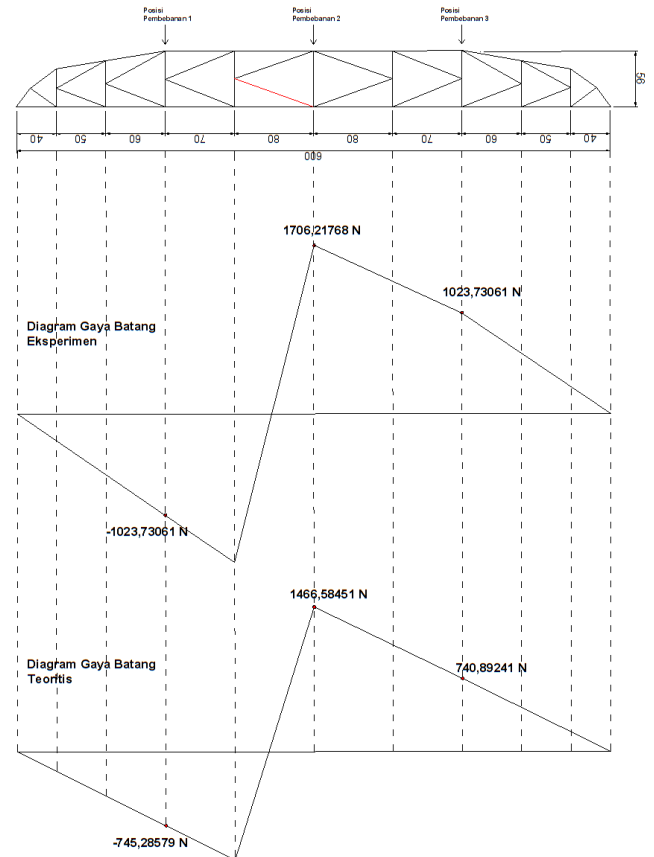


Gambar 14 Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)

### Perbandingan Hasil Uji Dengan Hasil Teoritis

Dilihat dari apa yang dihasilkan pada pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa perhitungan secara teoritis dengan apa yang terjadi di keadaan sebenarnya tentu berbeda. Oleh karena itu dibutuhkan faktor keamanan sebagai pendukung kelayakan suatu struktur atas perhitungan teoritis yang telah dilakukan.

### Perbandingan Nilai Tegangan Batang Diagonal



Gambar 15 Perbandingan Garis Pengaruh Gaya Batang Pengujian dan Teoritis

Tabel 4 Prosentase Beda Antara Tegangan Hasil Pengujian Dengan Teoritis

Posisi Beban	Prosentase Perbedaan (%)
Posisi 1	27,199
Posisi 2	14,045
Posisi 3	27,628
Rata-rata	22,957

Dari tabel 4 di atas didapatkan rata-rata perbedaan nilai tegangan yang terjadi adalah sebesar 22,957%. Dilihat dari data yang ada tegangan yang terjadi saat pengujian ternyata lebih besar dari tegangan yang dihasilkan dari perhitungan teoritis yang dilakukan.

## Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang

Perbandingan nilai lendutan pengujian dengan nilai lendutan teoritis yang didapatkan diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5 Prosentase Perbedaan Antara Lendutan Hasil Pengujian Dengan Teoritis

Posisi Beban	Balok Melintang Yang Ditinjau	Prosentase Beda (%)		
		A	B	C
Akibat Beban Di Balok Melintang 1 (Posisi 1)	Balok Melintang 1	63,702	32,584	55,590
	Balok Melintang 2	58,002	42,164	48,834
	Balok Melintang 3	56,604	34,879	44,816
Akibat Beban Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)	Balok Melintang 1	51,744	40,434	58,276
	Balok Melintang 2	71,216	16,214	69,766
	Balok Melintang 3	52,427	38,380	54,739
Akibat Beban Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)	Balok Melintang 1	54,463	39,396	55,401
	Balok Melintang 2	55,435	42,602	54,725
	Balok Melintang 3	62,040	30,434	60,542
Rata-rata		49,830		

Dari tabel 6 di atas didapatkan rata-rata perbedaan yang terjadi sekitar 49,830%. Dimana perbedaan tersebut diperkirakan terjadi karena kondisi sambungan yang ada pada pengujian tidak sama seperti sambungan yang ada pada perhitungan. Sambungan yang pada perhitungan atau program dianggap sebagai sambungan yang rigid sedangkan pada kenyataan dipakai sambungan jenis semirigid.

## Penutup Kesimpulan

Dari apa yang dihasilkan disimpulkan bahwa tegangan batang diagonal rangka tepi akan semakin besar jika beban semakin mendekat ke batang yang akan ditinjau, selain itu perubahan tegangan (tekan dan tarik) terjadi akibat posisi pembebanan serta posisi dari batang yang ditinjau. Sedangkan untuk lendutan sendiri dihasilkan bahwa lendutan balok melintang terbesar terjadi pada saat beban diberikan pada balok melintang 2 tengah bentang rangka jembatan.

Dari hasil pengujian serta hasil perhitungan dengan program didapatkan hasil yang berbeda. Untuk tegangan batang diagonal rangka tepi didapatkan perbedaan sebesar 22,957%, sedangkan untuk lendutan balok melintang didapatkan perbedaan sebesar 49,830%. Maka dari itu

diambil prosentase yang terbesar yang nantinya digunakan sebagai angka keamanan.

Perbedaan hasil pengujian dengan hasil perhitungan dengan program disebabkan oleh perbedaan asumsi sambungan yang diberikan. Pada program, sambungan yang diberikan dianggap sebagai sambungan rigid sedangkan pada keadaan sebenarnya sambungan yang dipakai merupakan sambungan jenis semi rigid.

## Saran

Sebenarnya agar pengujian selanjutnya dapat memberikan hasil yang lebih maksimal lagi diperlukan penggantian baut-baut penyambung pada seluruh sambungan yang ada. Selain itu benda uji sebenarnya diusahakan harus dibuat sedetil mungkin menyamai perhitungan yang dilakukan, karena hal tersebut dapat mengurangi besarnya perbedaan yang terjadi antara hasil pengujian dengan hasil perhitungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariestadi, Dian. 2008. *Teknik Struktur Bangunan Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Dewi, Sri Murni. 2013. *Garis Pengaruh*. Malang: BARGIE Media.
- Gere, James M. 1997. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Herlin I, Sri Murni Dewi, dan Prastumi. 2010. *Mekanika Bahan Untuk Teknik Sipil*. Malang: BARGIE Media.
- Hibbeler, Russel C. 2002. *Analisis Struktur*. Translated by Carley Tanya and Purnomo Wahyu Indarto. Jakarta: Tema Baru.
- Hsieh, Y.Y. 1985. *Teori Dasar Struktur*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Kulicki, John M. 2000. *Bridge Engineering Han book*.

Mulyati. 2006. "Bahan Ajar - Statika."

Nasution, Thamrin. 2012. *MODUL 1 Pengenalan Jembatan*.

Salmon, Charles G. 1997. *Struktur Baja Desain dan Perilaku*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Semarang: Penerbi Erlangga.

Siswadi. 1998. *Analisis Struktur Statik Tertentu*. Yogyakarta: Universitas Atam Jaya Yogyakarta.

Zulfiana, Andi. "Studi Perilaku Sambungan Jenis Semi Rigid Connection Dan Rigid Connection Pada Struktur Rangka Baja Yang Tahan Terhadap Beban Gempa Dengan Menggunakan Abaqus 6.7." 2012: 4.